

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Дејана Ивића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком бр. 5006/16-3 од 23.06.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Дејана Ивића под насловом

**„Развој управљачких алгоритама за управљање једносмерним портовима у дистрибутивним мрежама са дистрибуираним генераторима“**

**“Development of control algorithms for DC ports control in distribution network with distributed generators“**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Дејан Ивић уписао је 14.10.2016. године докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, студијски програм Електротехника и рачунарство, модул Електроенергетске мреже и системи. Током студија положио је све испите са просечном оценом 10 и испунио све обавезе везане за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом.

Тему докторске дисертације под насловом „Развој управљачких алгоритама за управљање једносмерним портовима у дистрибутивним мрежама са дистрибуираним генераторима“ пријавио је Комисији за студије трећег степена на Електротехничком факултету у Београду 02.09.2021. године.

Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог за израду докторске дисертације на својој седници одржаној 07.09.2021. године и предлог комисије за оцену подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће је именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5006/16-1 од 24.09.2021. године) у саставу:

1. др Горан Добрић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),

2. др Чедомир Зељковић, ванредни професор (Универзитет у Бањој Луци – Електротехнички факултет),
3. др Милан Бебић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),

Кандидат Дејан Ивић полагао је јавну усмену одбрану теме докторске дисертације и успешно положио докторски испит, одржан 06.12.2021. године.

Наставно-научно веће је усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5006/16-2 од 19.01.2022. године). За ментора дисертације именован је др Предраг Стефанов, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет). Веће научних области је 14.02.2022. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Дејан Ивић је 02.06.2022. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена је 07.06.2022. године потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Наставно – научном већу Електротехничког факултета. Наставно – научно веће именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „Развој управљачких алгоритама за управљање једносмерним портovima у дистрибутивним мрежама са дистрибуираним генераторима“ (Одлука бр 5006/16-3. од 23.06.2022. године) у саставу:

1. др Јован Микуловић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
2. др Горан Добрић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
3. др Чедомир Зељковић, ванредни професор (Универзитет у Бањој Луци – Електротехнички факултет),
4. др Милан Бебић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),
5. др Жељко Ђуришић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет),

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Развој управљачких алгоритама за управљање једносмерним портovima у дистрибутивним мрежама са дистрибуираним генераторима“ кандидата Дејана Ивића припада научној области Електротехника и рачунарство, ужа научна област Електроенергетски системи, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Предраг Стефанов, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Професор др Предраг Стефанов се дуги низ година бави научноистраживачким радом у области управљања и динамике електроенергетских система, што је потврђено релевантним радовима који су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Дејан Ивић је рођен 22.04.1992. године у Бањалуци. Бањалучку Гимназију завршава 2011. године са одличним успехом. Исте године уписује основне студије на Електротехничком факултету у Бањалуци, одсек електроенергетски и индустријски системи. Основне студије завршио је 2015. године са просечном оценом на испитима 8,13. Дипломски рад под називом

„Реализација система за управљање и надзор рада средњенапонске трансформаторске станице“ одбранио је у септембру 2015. године са оценом 10 (десет).

Исте, 2015. године уписао је мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду, модул Електроенергетски системи. Мастер студије завршио је 2016. године са просечном оценом 9,60. Мастер рад под називом „Анализа рада петљастих нисконапонских мрежа“ одбранио је у септембру 2016. године са оценом 10 (десет).

Докторске студије је уписао 2016. на Електротехничком факултету у Београду, модул Електроенергетске мреже и системи, где је положио све испите са просечном оценом 10,00.

Од априла 2015. године ангажован је као сарадник-консултант за дистрибутивне електроенергетске мреже и релејну заштиту при интернационалној компанији Toshiba Transmission & Distribution Europe S.p.A. Genova. Од фебруара 2020. године ангажован је такође као консултант при компанији ПРОИНТЕР ИТСС д.о.о. Бања Лука. Члан је међународног удружења IEEE огранак Србија и Црна Гора.

Области научног истраживања и интересовања кандидата Дејана Ивића су: регулација токова снага у дистрибутивним мрежама, примена уређаја енергетске електронике у дистрибутивним мрежама, релејна заштита и аутоматизација у ЕЕС, интелигентне мреже, интеграција обновљивих извора енергије у ЕЕС и е-мобилност у смислу инфраструктуре неопходне за пуњење електричних возила.

Аутор је више радова публикованих у међународним и домаћим часописима, као и зборницима међународних, регионалних и домаћих конференција. Течно говори енглески и немачки језик.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Развој управљачких алгоритама за управљање једносмерним портовима у дистрибутивним мрежама са дистрибуираним генераторима“ написана је на 103 стране (укупно 116 страна рачунајући насловне стране, садржај, литературу и прилоге). Дисертација је организована у 8 поглавља, има 45 слика, 35 табела и листу од 75 референци.

Наслови поглавља су:

1. Увод
2. Моделовање једносмерних (DC) портова
3. Управљање DC портом у нормалним радним условима
4. Управљање DC портом у критичним условима рада – Алгоритам претраге
5. Управљање DC портом у критичним условима рада – Polyfit алгоритам
6. Оптимизација скупа доступних мерења
7. Резултати симулација
8. Закључак

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дата су уводна разматрања тематике обрађене у наставку дисертације. Осим тога, у овом поглављу образложена је и мотивација за истраживања у анализираној области. Прво поглавље такође доноси и детаљан преглед актуелне литературе. У овом делу првог поглавља детаљно су размотрена актуелна истраживања у области управљања

једносмерним портовима као и могућности за даље унапређење техничких решења и истраживања у овој области.

Математички модели који су коришћени у практичном делу истраживања описани су у другом поглављу. У овом поглављу описане су типске топологије једносмерних портова које се најчешће користе у пракси, основне регулационе контуре и модели губитака у једносмерним портовима. Модели описани у овом поглављу даље су инкорпорирани у алгоритме за прорачуне токова снага и примењени при развоју алгоритама за локално управљање једносмерним портовима.

Треће поглавље посвећено је управљању једносмерним портовима у нормалним радним условима. У овом поглављу анализиран је рад једносмерних портова у случајевима који подразумевају потпуну расположивост неопходне комуникационе инфраструктуре тј. централизовано управљање једносмерним портовима засновано на прорачунима оптималних токова снага у мрежи. Главнину овог поглавља чини оптимизациони оквир који, поред модела мреже, у јединствену целину обухвата и моделе једносмерних портова. У трећем поглављу приказана је и могућност практичне имплементације описаног поступка оптимизације коришћењем метахеуристичке методе засноване на алгоритму Сивих вукова.

Четврто и пето поглавље дају формулацију нових управљачких алгоритама за управљање једносмерним портовима у критичним условима рада, када централизовано управљање није доступно а регулација рада једносмерних портова се врши локално. Алгоритми описани у овим поглављима (уз нумеричку верификацију њихових перформанси приказаној у поглављу седам) чине главни научни допринос докторске дисертације.

У четвртом поглављу описан је Алгоритам претраге који омогућава локално управљање једносмерним портовима засновано на делимичном скупу мерења доступних у периодима прекида комуникације и коришћењу записа из историјске базе података.

Други предложени алгоритам, Polyfit алгоритам описан у петом поглављу, омогућава локално управљање једносмерним портовима засновано на историјској бази података, скупу мерења доступном током периода нерасположивости комуникационе инфраструктуре и полиномној естимацији излазних променљивих једносмерних портова.

Проблем дефинисања и оптимизације скупа мерења која остају доступна током периода нерасположивости централизованог управљања једносмерним портовима анализиран је у шестом поглављу. Уважавајући димензионалност дистрибутивних мрежа и потенцијално велики број мерних тачака у мрежама овог тима, проблематици дефинисања и оптимизације скупа мерења која се користе у локалном управљању једносмерним портовима посвећена је посебна пажња. У овом поглављу предложена је оптимизација скупа доступних мерења заснована на моделу разматране мреже односно на корелацијама између појединих мерења у мрежи. Предложени поступак оптимизације скупа доступних мерења имплементиран је и практично (као показни пример) на IEEE 33 дистрибутивном тест систему.

Седмо поглавље садржи резултате практичног дела научноистраживачког рада односно резултате симулација примене предложених алгоритама на неколико тест система. У склопу овог поглавља детаљно су описани коришћени тест системи IEEE 33 и IEEE 69 као и све модификације односно сценарији симулирани како би се испитала робусност и примењивост предложених алгоритама за локално управљање једносмерним портовима. Осим симулација на тест системима у седмом поглављу дати су и резултати симулација на конкретној/стварној дистрибутивној мрежи са предложеним локацијама једносмерних портова и дистрибуираних генератора. На овај начин показана је могућност примене предложене методологија и у стварним дистрибутивним мрежама на нашим просторима.

У осмом поглављу изложени су основни закључци целокупног истраживачког рада обухваћеног овом докторском дисертацијом. Уз закључке наведене су и смернице и трендови будућег истраживања у области управљања једносмерним портовима.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Интеграција обновљивих извора енергије заједно са дерегулацијом тржишта на дистрибутивном нивоу неминовно је довела до значајних промена унутар самих дистрибутивних мрежа. Савремене дистрибутивне мреже су активне мреже са значајним присуством дистрибуираног генерисања што последично доводи и до токова снага са повратним смеровима унутар мреже. Тенденције енергетске транзиције и постепеног преласка на еколошки прихватљивије тзв. „зелене“ изворе енергије доносе и нове захтеве за интеграцијом додатних производних капацитета директно у дистрибутивне мреже средњег и ниског напона. Уважавајући све ове промене, управљање у савременим дистрибутивним мрежама добија додатно на значају и у фокус истраживања ставља развој нових управљачких уређаја, специјализованих за примену у дистрибутивним мрежама, чијом би се применом уз поузданост и сигурност мреже омогућило и максимално искоришћење постојећих ресурса тј. максималан степен интеграције нових дистрибуираних генератора. Развој нових управљачких ресурса уз развој хардвера подразумева и развој нових управљачких алгоритама (софтвера) без којих реализација оптималног управљања није могућа.

Примена једносмерних портова као нових управљачких ресурса у дистрибутивним мрежама разматрана је у склопу истраживања и израде докторске дисертације. Главни предмет истраживања докторске дисертације јесте развој потпуно нових управљачких стратегија које омогућавају оптималан рад једносмерних портова и њихову примену у критичним условима рада, тј. у ситуацијама нерасположивости централизованог управљања услед прекида комуникације или било ког другог разлога. Велики број научних радова који се баве, како интеграцијом једносмерних портова у дистрибутивне мреже, тако и управљањем овим уређајима на различите начине и у различитим околностима потврђују актуелност обрађиване тематике и саму потребу за новим, иновативним решењима у овој области. Научни допринос ове дисертације огледа се у два потпуно нова алгорита која омогућавају локално управљање једносмерним портовима у критичним условима рада када централизовано управљање није доступно. Предложени алгоритми су оригинални и као такви нису раније разматрани. Поред нових управљачких алгоритама у склопу дисертације предложена је и метода оптимизације скупа доступних мерења заснована на корелацијама између појединих мерења у мрежи. Овим поступком додатно су побољшане перформансе предложених алгоритама и омогућена је њихова примена уз коришћење минималних рачунарских ресурса. Предложена решења тестирана су кроз извођење симулација на дистрибутивним тест мрежама као и на једном реалном дистрибутивном систему. На овај начин испитане су перформансе и потврђена је примењивост предложених решења.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је цитирано укупно 75 референци које су наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације. Анализирана литература обухвата радове који су посвећени примени једносмерних портова у дистрибутивним мрежама, њиховом моделовању и развоју и примени различитих управљачких алгоритама који за циљ имају оптимизацију рада целокупне дистрибутивне мреже. Посебан фокус при анализи и прегледу литературе стављен је на радове који се баве управљањем једносмерним портовима у различитим условима рада тј. развојем управљачких алгоритама специјализованих за регулацију рада једносмерних портова. Решења предложена у овој дисертацији значајно се разликују од постојећих анализираних решења. Предности предложених управљачких алгоритама као и потенцијални

недостаци наведени су у дисертацији. На основу свеобухватности референци које су наведене на крају дисертације и уважавајући садржану анализу актуелне литературе представљену у првом поглављу, јасно је да је кандидат детаљно и темељно истражио ширу научну област којој дисертација припада.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у докторској дисертацији укључује анализе, моделовање и симулације. Математичким моделовањем једносмерних портова и даљим укључивањем ових модела у алгоритме за прорачуне токова снага добијени су алати за развој алгоритама специјализованих за примену у критичним условима рада једносмерних портова. Развој нових управљачких алгоритама за локално управљање једносмерним портовима обухватио је и практичну реализацију описаних алгоритама у софтверском пакету MATLAB. Испитивање перформанси предложених алгоритама и њихово поређење са централизованим управљачким стратегијама извршено је кроз извођење симулација на дистрибутивним тест системима IEEE 33 и IEEE 69. Моделовање тест система и извршавање симулација такође је имплементирано у софтверском пакету MATLAB. Осим симулација на тест системима, разматрана је и примена предложених решења у стварном дистрибутивном систему – кроз извођење симулација заснованих на подацима доступним из база података локалног оператора дистрибутивног система. Како би се предложени алгоритми што је могуће квалитетније испитали, при извођењу симулација уважени су различити сценарији који уважавају како најчешће случајеве у пракси тако и карактеристичне граничне случајеве специфичне за сваки од новоразвијених алгоритама.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Осим научног доприноса, резултати добијени у оквиру дисертације имају и практичну примену. Као крајњи продукт дисертације добијена су два оригинална софтверска решења специјализована за примену у области управљања дистрибутивним електроенергетским мрежама са интегрисаним једносмерним портовима и дистрибуираним генераторима. Предложена решења се могу врло једноставно реализовати као локални контролери једносмерних портова (коришћењем микроконтролера и неког од стандардних програмских језика) или као допунски управљачки модули који ће се користити као допуна постојећим дистрибутивним менаџмент системима (ДМС).

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Дејан Ивић је систематично проучио релевантну литературу, успешно је идентификовао отворене проблеме у разматраној области и предложио конкретна решења за њихово решавање. Тиме је кандидат показао способност за самосталан научно-истраживачки рад. Израда докторске дисертације је укључивала и развој нових, оригиналних управљачких стратегија које решавају анализирани проблем управљања једносмерним портовима у условима нерасположивости комуникационе инфраструктуре и/или централизованог управљања. Верификација перформанси развијених алгоритама кроз рачунарске симулације и анализу резултата указују на зрелост кандидата за независни научно-истраживачки рад. Доприноси дисертације су оригинални и савремени, а резултати су објављени у два рада у часописима са SCI листе и кроз већи број радова на домаћим и међународним конференцијама.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације су следећи:

- Проблематика управљања једносмерним портовима формулисана је тако да се једносмерни портови третирају као управљачки ресурси у дистрибутивној мрежи. Модели једносмерних портова укључени су имплицитно у прорачуне токова снага у дистрибутивним мрежама.
- Развијена су два потпуно нова, оригинална алгоритма за локално управљање једносмерним портовима у критичним условима рада, када централизовано управљање једносмерним портовима из неког разлога није расположиво. Новоразвијени алгоритми базирани су само на историјској бази података и скупу мерења која остају доступна током периода нерасположивости централизованог управљања.
- Предложен је поступак оптимизације скупа доступних мерења која се користе при локалном управљању једносмерним портовима (улази за горе наведене алгоритме). На овај начин побољшане су перформансе предложених решења и проширен спектар њихове примењивости.
- Примењивост предложених решења верификована је за различите тест и стварне дистрибутивне системе, уважавајући различите сценарије специфичне за сваки од развијених алгоритама понаособ.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати истраживања преточеног у ову докторску дисертацију представљају значајно унапређење управљачких стратегија специјализованих за управљање једносмерним портовима у дистрибутивним мрежама. Предложена методологија омогућава несметан рад једносмерних портова како у нормалним условима рада тако и у критичним условима нерасположивости централизованих система управљања. Научни доприноси наведени у тачки 4.1, који су резултовали новим алгоритмима примењивим и у практичним случајевима, суштински представљају нова решења која додатно унапређују постојећа научна знања у овој области. Применом предложених управљачких алгоритама омогућава се оптималан рад (или рад у режиму јако блиском оптималном) дистрибутивне мреже са интегрисаним једносмерним портовима и у случајевима прекида комуникације што даје додатни значај и практичну примењивост новоразвијених алгоритама. Иновативност предложених алгоритама репрезентована је кроз сам принцип локалног управљања једносмерним портовима који се заснива на записима из историјске базе података и подацима доступним током делимичног прекида комуникације. Такође, у овој дисертацији обрађена је проблематика оптимизације скупа доступних мерења која се може класификовати и као проблем оптимизације великог броја података, који је у данашње време изузетно акутелан у различитим областима. Развијени управљачки алгоритми показали су се као робусни и примењиви у различитим случајевима без обзира на број и локацију једносмерних портова и дистрибуираних генератора у мрежи. Имплементација развијених управљачких алгоритама не захтева значајне рачунарске ресурсе, што је јако значајно са аспекта примењивости у пракси. Предложени управљачки алгоритми могу се применити и у стварним дистрибутивним мрежама са интегрисаним једносмерним портовима, било да се реализују у виду аутономних локалних контролера једносмерних портова или пак као допунски модули ДМС система који би се користили као подршка операторима у критичним режимима рада.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Дејан Ивић до сада је објавио следеће радове релевантне за докторску дисертацију:

*Радови публиковани у научним часописима међународног значаја*

##### **M21**

- **D. Ivic** and P. Stefanov, "Control strategy for DC soft open point in large scale distribution networks with distributed generators," in CSEE Journal of Power and Energy Systems, doi: 10.17775/CSEEJPES.2020.03850. IF: 3.938<sub>2021</sub>(M21<sub>2021</sub>)
- **D. R. Ivic** and P. C. Stefanov, "An Extended Control Strategy for Weakly Meshed Distribution Networks With Soft Open Points and Distributed Generation," in IEEE Access, vol. 9, pp. 137886-137901, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3116982. IF: 3.745<sub>2021</sub>(M21<sub>2021</sub>)

*Зборници скупова међународног значаја*

##### **M33**

- **D. Ivić**, D. Macanović, D. Šošić, P. Stefanov, "Weakly Meshed Distribution Networks with Distributed Generation - Power Flow Analysis Using Improved Impedance Matrix Based Algorithm", *XI International Symposium on Industrial Electronics – INDEL 2016*, 3-5 November 2016, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina.

*Зборници скупова националног значаја*

##### **M63**

- **D. Ivic**, D. Sobic, P. Stefanov „DC Soft Open Points – Implementation for closing loops in distribution networks“, 3rd International Symposim ENEF 2017, Banja Luka, BiH, Nov. 2017.
- **D. Ivić**, P. Stefanov, "Primena DC portova kao upravljačkih resursa za optimizaciju rada distributivnih mreža", *12. Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama CIRED Srbija*, Ref. R 4.14, Vrnjačka Banja, Srbija, 30. avgusta – 03. septembar 2021.

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

Докторска дисертација „Развој управљачких алгоритама за управљање једносмерним портовима у дистрибутивним мрежама са дистрибуираним генераторима“ кандидата Дејана Ивића представља оригинални научни допринос научној области Електротехника и рачунарство (ужа научна област Електроенергетски системи). Дисертација садржи све елементе наведене у образложењу приликом пријаве и испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији је детаљно изложена оригинална управљачка стратегија за управљање једносмерним портовима са нагласком на управљање у критичним условима рада при којима



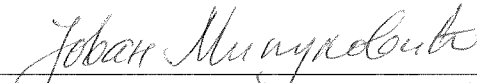
централизовано управљање није расположиво. У дисертацији су предложена два потпуно нова управљачка алгоритма која омогућавају локално управљање једносмерним портовима базирано на обради историјских података и делимичног скупа мерења која остају доступна и током периода прекида комуникационих канала. Предложена управљачка стратегија је тестирана и додатно унапређена поступком оптимизације скупа доступних мерења који је такође детаљно образложен у дисертацији. Развијени алгоритми, као и целокупна управљачка стратегија, поред научног доприноса имају и практичну примену те се могу имплементирати уз коришћење минималних рачунарских ресурса.

Уважавајући чињеницу да је анализирана проблематика актуелна, а предложена решења у оквиру докторске дисертације оригинална, Комисија констатује да је кандидат Дејан Ивић показао способност за самостални научни рад и да је задовољио све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.


Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се докторска дисертација под називом **„Развој управљачких алгоритама за управљање једносмерним портовима у дистрибутивним мрежама са дистрибуираним генераторима“** кандидата **Дејана Ивића** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 01.08.2022. године

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



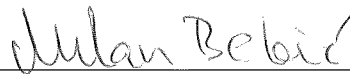
др Јован Микуловић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



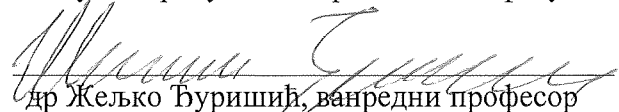
др Горан Добрић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Чедомир Зељковић, ванредни професор  
Универзитет у Бањој Луци – Електротехнички факултет



др Милан Бебић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жељко Буришић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет